

33

Circular
TécnicaPlanaltina, DF
Junho, 2016

Autores

**Djalma Martinhão
Gomes de Sousa**Químico, mestre em
Ciências do Solo,
pesquisador da Embrapa
Cerrados, Planaltina, DF**Rafael de Souza Nunes**Engenheiro-agrônomo,
doutor em Agronomia,
pesquisador da Embrapa
Cerrados, Planaltina, DF**Thomaz Adolpho Rein**Engenheiro-agrônomo, doutor
Soil and Crop Sciences,
pesquisador da Embrapa
Cerrados, Planaltina, DF**João de Deus Gomes
dos Santos Júnior**Engenheiro-agrônomo,
doutor em Agronomia,
pesquisador da Embrapa
Cerrados, Planaltina, DF**Embrapa**

Manejo da Adubação Fosfatada para Culturas Anuais no Cerrado

Introdução

O fósforo (P) é um dos nutrientes mais importantes para a produção agrícola nos solos da região do Cerrado, uma vez que sua disponibilidade, em condições naturais, é muito baixa. Assim, a adubação fosfatada é prática imprescindível no estabelecimento e manutenção de qualquer sistema agrícola sustentável nessa região, sendo um dos investimentos que mais onera a prática da agricultura comercial no Cerrado. Portanto, para sistemas de cultivos anuais, é necessário que se utilizem recomendações adequadas no manejo da adubação fosfatada, visando alta eficiência do uso do P, as quais dependem de uma série de aspectos, que serão aqui apresentados.

Neste trabalho são apresentados os principais resultados experimentais obtidos com o avanço das pesquisas sobre o tema, numa revisão e ampliação das recomendações apresentadas no passado (SOUSA et al., 2004).

Interpretação da Análise de Fósforo no Solo

A interpretação da análise de P para solos do Cerrado pelos métodos atualmente adotados no Brasil, Mehlich-1 e resina trocadora de íons, é realizada com base em amostragem da camada superficial de 0 cm a 20 cm (Tabela 1). Os níveis críticos de P representam teores mínimos adequados no solo, suficientes para obtenção de 80% a 90% do rendimento potencial na ausência de aplicação de P naquele ano agrícola. Em sistemas de maior risco, como cultivo de grãos em sequeiro, ou menor valor agregado, como soja e milho, sugere-se elevar o teor de P ao limite inferior da classe adequada, ou seja, 80% do rendimento potencial, de modo que os níveis críticos pelo método Mehlich-1 serão iguais a 18 mg dm⁻³, 15 mg dm⁻³, 8 mg dm⁻³ e 4 mg dm⁻³ para os solos com teor de argila ≤15%, 16% a 35%, 36% a 60% e >60%, respectivamente. Em sistema de menor risco, como cultivo irrigado de grãos, culturas de maior valor agregado, como feijão e algodão, ou áreas cultivadas há mais de dez anos com produtividades semelhantes ao potencial de 90%, sugere-se elevar o teor de P ao limite superior da classe adequada, ou seja, 90% do rendimento potencial, de modo que os níveis críticos serão iguais a 25 mg dm⁻³, 20 mg dm⁻³, 12 mg dm⁻³ e 6 mg dm⁻³ para os solos com teor de argila ≤15%, 16% a 35%, 36% a 60% e > 60%, respectivamente. Os rendimentos potenciais considerados são 6 t ha⁻¹ soja, 5 t ha⁻¹ feijão, 15 t ha⁻¹ milho, 8 t ha⁻¹ arroz, 8 t ha⁻¹ trigo, 6 t ha⁻¹ sorgo e 6 t ha⁻¹ algodão em caroço.

A interpretação dos teores de P no solo avaliados pelo método da resina é pouco influenciada pelo teor de argila, não havendo necessidade, portanto, de criar classes em razão dessa variável. Dessa forma, independentemente do teor de argila do solo, os níveis críticos são de 15 mg dm⁻³ a 20 mg dm⁻³, suficientes para obtenção de 80% a 90% do rendimento potencial na ausência de aplicação de P naquele ano agrícola, recomendados para sistemas de maior ou menor risco, respectivamente.

Tabela 1. Interpretação da análise de fósforo nos solos do Cerrado pelos métodos da resina trocadora de íons e Mehlich-1 para culturas anuais em geral, com base em amostras de solo coletadas na camada de 0 cm a 20 cm.

Classe de disponibilidade de P	Produtividade potencial %	P resina	P Mehlich-1 (em função do teor de argila, %)			
			≤15%	16% a 35%	36% a 60%	> 60%
			mg P/dm ³ solo			
Muito baixa	0-40	0-5	0-6,0	0-5,0	0-3,0	0-2,0
Baixa	41-60	6-8	6,1-12,0	5,1-10,0	3,1-5,0	2,1-3,0
Média	61-80	9-14	12,1-18,0	10,1-15,0	5,1-8,0	3,1-4,0
Adequada	81-90	15-20	18,1-25,0	15,1-20,0	8,1-12,0	4,1-6,0
Alta	91-100	21-35	25,1-40,0	20,1-35,0	12,1-18,0	6-1-9,0
Muito alta	100	>35	>40,0	>35,0	>18,0	>9,0

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2004).

Respostas das Culturas Anuais a Fertilizantes Fosfatados

A resposta das culturas à adubação fosfatada depende, dentre outros fatores, da disponibilidade inicial de P no solo, da disponibilidade de outros nutrientes, da espécie e da variedade vegetal cultivada e das condições climáticas. Com a adubação fosfatada, busca-se elevar a disponibilidade de P no solo a níveis considerados satisfatórios, o que resultará num aumento do potencial produtivo da área, quando esta apresentar condições favoráveis de suprimento de água e dos demais nutrientes (Figura 1). Quando não se adiciona P nos solos de Cerrado, os quais possuem baixa disponibilidade inicial do nutriente, as produtividades são muito pequenas. As maiores produtividades das culturas são observadas quando a disponibilidade de P no solo está na classe adequada ou acima dela, ou seja, com teores de P extraídos pelo método da resina acima de 15 mg dm⁻³ a 20 mg dm⁻³. Para que isso ocorra nos solos do Cerrado, em geral, são necessárias adubações corretivas com doses entre 60 a 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para solos com teores iniciais de P classificados como muito baixo, de textura arenosa a muito argilosa.

Recomendação da Adubação Fosfatada Corretiva

A adubação fosfatada corretiva (fosfatagem) visa elevar a disponibilidade de P do solo para a classe “adequada” (Tabela 1) e a dose de fertilizante

fosfatado necessária para se atingir esse nível de disponibilidade pode ser estimada pelo método baseado na capacidade tampão de P no solo (CTP). A CTP corresponde à dose de P₂O₅ necessária para se elevar em 1 mg dm⁻³ o teor de P na camada amostrada de 0 cm a 20 cm do solo, e varia com a textura e extrator de P (Tabela 2). Conhecendo-se o teor atual de P no solo, a dose de P₂O₅ na adubação corretiva é calculada a partir da seguinte equação (SOUSA et al., 2006):

$$\text{Dose de P (kg ha}^{-1} \text{ de P}_2\text{O}_5) = (\text{Teor desejado de P} - \text{Teor atual de P}) \times \text{CTP}$$

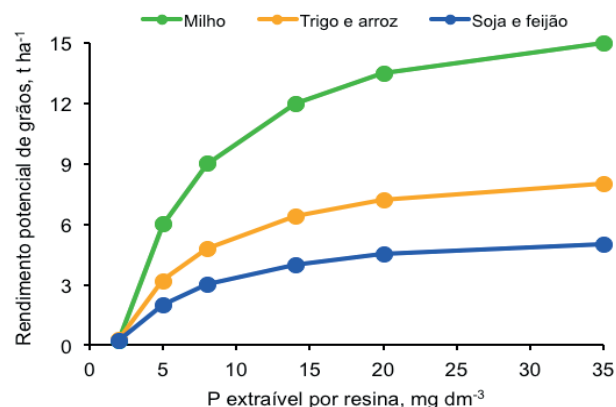


Figura 1. Rendimento potencial de algumas culturas em função do teor de P extraível pelo método da resina em solos de Cerrado.

Fonte: Sousa et al. (2016).

Tabela 2. Níveis críticos de fósforo observados para 80% da produtividade potencial das culturas e valores da capacidade tampão de fósforo (CTP) do solo com a finalidade de determinar a dose do fertilizante fosfatado utilizado na adubação corretiva de culturas anuais de menor valor agregado em sequeiro na região do Cerrado, em função do teor de argila no solo, para os métodos Mehlich-1 e resina.

Teor de argila (%)	Nível crítico de fósforo para 80% do rendimento potencial ⁽¹⁾		Capacidade tampão de fósforo (CTP) ⁽²⁾	
	(mg dm ⁻³)		(kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)/(mg dm ⁻³ de P)	
	Mehlich-1	Resina	Mehlich-1	Resina
10-15	20	15	5	6
16-20	18	15	6	7
21-25	17	15	7	8
26-30	15	15	9	9
31-35	14	15	11	10
36-40	13	15	15	12
41-45	11	15	18	13
46-50	10	15	23	14
50-55	8	15	29	15
56-60	7	15	37	16
61-65	5	15	54	17
66-70	4	15	70	19

⁽¹⁾ Para a obtenção do nível crítico de fósforo para 90% do rendimento potencial, para culturas de maior valor agregado ou menor risco climático, como sistemas irrigados, multiplicar esses valores por 1,4.

⁽²⁾ Dose de P₂O₅ solúvel para elevar o teor de fósforo no solo em 1 mg dm⁻³, com base em amostra da camada de 0 cm a 20 cm.

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2006).

A utilização da capacidade tampão de P do solo no cálculo da adubação corretiva para culturas anuais em solos da região do Cerrado resulta em recomendações mais exatas em relação às tabelas, especialmente por trabalhar com faixas menores de teor de argila, com intervalos de 5%. Caso seja necessário,

há a possibilidade de fazer o cálculo da dose de fertilizante fosfatado a ser aplicado ao solo para correção desse nutriente para cada 1% de argila existente no solo, por meio das equações abaixo, válidas para solos com teores de argila de até 70% (SOUSA et al., 2016):

Método de Mehlich-1, 80% da produtividade potencial das culturas

$$\text{Dose de fósforo (kg ha}^{-1} \text{ de P}_2\text{O}_5) = [(23 - 0,28 \times \text{argila } \%) - \text{Teor atual de fósforo}] \times (2,43 \times e^{0,0483 \text{ argila } \%})$$

Método da resina, 80% da produtividade potencial das culturas

$$\text{Dose de fósforo (kg ha}^{-1} \text{ de P}_2\text{O}_5) = (15 - \text{Teor atual de fósforo}) \times (4,6 + 0,21 \times \text{argila } \%)$$

Método de Mehlich-1, 90% da produtividade potencial das culturas

$$\text{Dose de fósforo (kg ha}^{-1} \text{ de P}_2\text{O}_5) = [(32 - 0,4 \times \text{argila } \%) - \text{Teor atual de fósforo}] \times (2,43 \times e^{0,0483 \text{ argila } \%})$$

Método da resina, 90% da produtividade potencial das culturas

$$\text{Dose de fósforo (kg ha}^{-1} \text{ de P}_2\text{O}_5) = (21 - \text{Teor atual de fósforo}) \times (4,6 + 0,21 \times \text{argila } \%)$$

Quando não se tem o capital financeiro para fazer a adubação fosfatada corretiva em uma única aplicação, situação comum para os solos argilosos e muito argilosos, cujas doses requeridas são elevadas, a adubação corretiva gradual pode ser utilizada. Essa prática consiste em aplicar, no sulco de semeadura, a quantidade de P definida para adubação corretiva, mas de modo parcelado, acrescentando à adubação anual de manutenção uma parcela da adubação corretiva total até atingir, após alguns anos, a disponibilidade de P desejada. Sugere-se que a adubação fosfatada corretiva gradual seja realizada num período máximo de cinco cultivos, após o qual, o solo apresentará os teores de P no nível adequado (Tabela 1).

Recomendação da Adubação Fosfatada de Manutenção

A adubação fosfatada de manutenção é recomendada quando a disponibilidade de P é adequada ou alta. As doses devem ser suficientes para a manutenção do potencial produtivo da área.

Na Tabela 3, é apresentada a recomendação de adubação de manutenção para as culturas de soja e milho sob sistema plantio direto bem manejado e sem limitações de ordem química, física ou biológica. Foi tomado como referência a exportação de 15 kg de P_2O_5 por tonelada de grãos de soja e 5 kg de P_2O_5 por tonelada de grãos de milho. Assim, para a cultura da soja com nível de P adequado, 45 kg/ha

de P_2O_5 devem ser adicionados ao solo para se produzir 3 t/ha de grãos ou 9 t/ha de grãos de milho. Para produtividades maiores, a manutenção deve ser proporcionalmente aumentada.

Observa-se que, para as culturas de soja e milho, que possuem elevada eficiência de uso do P e baixo valor agregado, quando o solo apresentar disponibilidade de P na faixa adequada ou acima desta, a adubação de manutenção consiste na aplicação de doses de P iguais ou menores do que a quantidade removida pela colheita das culturas. Assim, a taxa de desfrute do P aplicado ao solo, calculada pela relação percentual entre a quantidade de P que será exportada, com a produtividade almejada da cultura, e a quantidade aplicada ao solo como fertilizante fosfatado, será de 100% quando a quantidade aplicada for igual, e maior que 100% quando for menor que a quantidade removida. Quando a classe de interpretação da análise de solo indicar adequado, recomenda-se aplicar a mesma quantidade de P que se espera exportar pelas culturas por ocasião da colheita, resultando numa taxa de desfrute do fertilizante aplicado de 100%, ou seja, todo P aplicado será exportado. Quando o teor de P no solo for alto, é possível aplicar uma quantidade de P menor do que se espera exportar pelas culturas, utilizando parte do P armazenado no solo na nutrição da planta, obtendo-se, então, uma taxa de desfrute superior a 100%. Para teores muito altos de P no solo, pode-se deixar de realizar a adubação fosfatada por um ano ou mais, até o retorno para a classe alto, sem comprometer o potencial produtivo.

Tabela 3. Recomendação de adubação de manutenção de acordo com a classe de disponibilidade de fósforo no solo e produtividade almejada para as culturas da soja e do milho na região do Cerrado.

Cultura	Produtividade almejada t/ha	Interpretação do teor de P da análise de solo		
		Adequado	Alto	Muito alto
		Dose de P a aplicar no solo - kg de P_2O_5 ha ⁻¹		
Soja	3	45	30	0
	4	60	40	0
	5	75	50	0
Taxa do desfrute do P aplicado		100%	150%	-
Milho	7	35	25	0
	9	45	30	0
	12	60	45	0
	15	75	50	0
Taxa do desfrute do P aplicado		100%	150%	-

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2016).

Para o sucesso dessas recomendações, é necessário ter alto grau de confiabilidade nos resultados das análises do solo. Para isso, além da qualidade na coleta das amostras de solo na lavoura, que variam em função do sistema de manejo do solo e da adubação fosfatada (SOUSA et al., 2010), deve-se atentar para a seleção de laboratório de análise de solo confiável. Juntamente com a análise de solo, o conhecimento do histórico da área é fundamental para avaliação mais precisa da disponibilidade de P no solo e adequada recomendação de adubação. Assim, as produtividades obtidas, bem como a quantidade de fertilizantes fosfatados aplicados nos últimos cinco anos, são de grande valia. Por exemplo, uma gleba que nos últimos cinco anos produziu em média 67 sacos de soja e 200 sacos de milho por hectare deverá apresentar um teor de P no solo classificado como adequado ou acima deste. Se o resultado de análise de solo indicar um teor de P abaixo disso, resultando numa suposta necessidade de correção fosfatada, certamente houve algum problema, sendo necessária nova análise da amostra de solo ou nova amostragem da área.

Manejo da Adubação Fosfatada

Após a correta definição da dose de fertilizante fosfatado para correção e manutenção da disponibilidade de P, é importante que o modo de aplicação e a fonte de P sejam adequados, garantindo sua máxima eficiência no sistema.

Modo de aplicação

Em geral, para adubações corretivas de solos com disponibilidade de P muito baixa, são necessárias doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A aplicação dessas doses a lanço com incorporação pode promover melhor acesso de grande parte do sistema radicular ao fertilizante, pois este se encontrará diluído em toda a camada superficial do solo. Essa técnica resulta em maior produtividade das culturas (Tabela 4), ao contrário do que ocorre com a aplicação de elevadas doses na linha de plantio, em que apenas uma pequena fração das raízes tem acesso ao fertilizante aplicado. Entretanto, a aplicação de doses menores que 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de fertilizante fosfatado solúvel, no sulco, normalmente resulta em rendimento de grãos equivalente ou superior à aplicação a lanço com incorporação (Tabela 4), possivelmente por permitir maior concentração de P na zona de maior crescimento radicular.

Tabela 4. Produtividade de soja em Latossolo argiloso, com teor de fósforo extraível muito baixo, no qual se aplicou doses de fósforo na forma de superfosfato triplo granulado, a lanço incorporado e no sulco de plantio, no sistema de preparo convencional.

Dose de P kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	Modo de aplicação	
	Sulco	Lanço
	t ha ⁻¹	
0	0,20	0,20
50	1,40	1,20
100	1,75	1,80
150	1,85	2,40
300	-	3,60

Fonte: Sousa et al., dados não publicados.

Para a adubação fosfatada de manutenção, a escolha do modo de aplicação do fertilizante fosfatado dependerá de diversos fatores como a fonte, sistema de preparo, teor de P no solo, sistema de cultivo e declividade do terreno.

Em ensaio com cultivos de soja e milho por 17 anos em Latossolo Vermelho muito argiloso com disponibilidade inicial de P muito baixa (menos de 1,0 mg dm⁻³ de P extraído por Mehlich-1) foram realizadas adubações anuais com superfosfato triplo na dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados a lanço ou no sulco de plantio, em sistema de preparo convencional (constituído de uma aração e gradagem niveladora – SPC) ou sistema plantio direto (SPD) (Figura 2). A estratégia adotada, nesse caso, foi a adubação corretiva gradual em que, após quatro cultivos, restaria, no solo, a dose recomendada para a correção, justificando a baixa produtividade inicial e os ganhos crescentes de produtividade até o quarto cultivo (Figura 2).

Durante a fase de adubação fosfatada corretiva gradual, a produtividade foi semelhante nos dois modos de aplicação no SPC, enquanto no SPD, a aplicação a lanço na superfície do solo resultou em menor produtividade nos dois primeiros anos de cultivo, em relação ao sulco (Figura 2), possivelmente porque o acesso das raízes de soja ao P superficial limitou a absorção do nutriente. Essa é a razão pela qual não se recomenda adubação fosfatada a lanço

no SPD antes que o solo esteja no nível adequado de disponibilidade de P. No entanto, após o solo estar corrigido com P, em nenhum dos anos foi observada diferença significativa nas produtividades de soja e milho quanto ao modo de aplicação do fertilizante, tanto no SPC quanto no SPD. Ao final dos 17 cultivos no SPC, a soma das produtividades de soja e milho para aplicação a lanço incorporado e no sulco foi, respectivamente, 91,4 t ha⁻¹ e 88,6 t ha⁻¹. No SPD, a soma das produtividades dos 17 cultivos de soja e milho foi de 97,8 t ha⁻¹ e 96,6 t ha⁻¹, para aplicação a lanço na superfície do solo e no sulco de plantio, respectivamente (Figura 2). A perda em produtividade observada no SPD nos dois primeiros cultivos de soja devido a aplicação a lanço do fertilizante fosfatado na superfície do solo foi compensada nos demais anos com soja e milho.

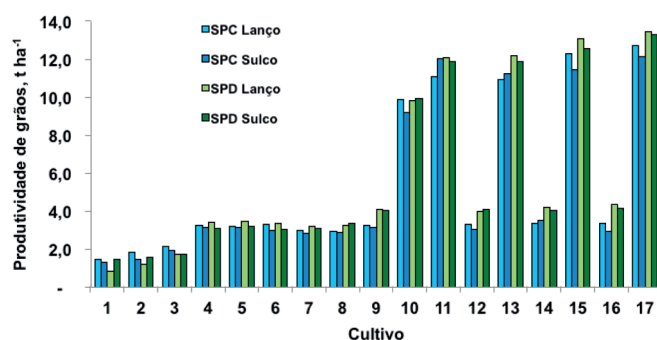


Figura 2. Produtividade de grãos de soja (cultivos 1 ao 9, 12, 14 e 16) e milho (cultivos 10, 11, 13, 15 e 17) durante 17 cultivos em Latossolo Vermelho muito argiloso com teor inicial de fósforo extraível muito baixo no sistema de preparo convencional (SPC) e sistema de plantio direto (SPD), recebendo aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço (incorporado no SPC e na superfície do solo no SPD) e no sulco de plantio na forma de superfosfato triplo. A produtividade média de grãos do tratamento sem fósforo foi de 0,2 t ha⁻¹ para as culturas de soja e milho no período de 17 anos.

Fonte: Adaptado de Nunes (2014).

A aplicação anual de adubos fosfatados a lanço na superfície no SPD resulta em diferenças consideráveis na distribuição do P no perfil do solo em relação à aplicação no sulco de semeadura, especialmente em área com disponibilidade inicial de P muito baixa (Figura 3). A estratificação de P no solo com adubação fosfatada anual a lanço no SPD se intensifica ao longo do tempo, uma vez que o enriquecimento na camada superficial ocorre em maior intensidade do que nas camadas inferiores. Isso tem levado à conclusão de que

a adubação fosfatada a lanço no SPD seria uma prática inadequada, que limitaria o acesso da planta ao P e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. No entanto, a estratificação de P (Figura 3) não afetou a distribuição de raízes de soja ou milho no perfil do solo (Figura 4). Percebe-se que, com o passar do tempo, o P outrora aplicado na superfície movimenta-se para camadas inferiores devido ao distúrbio mecânico do solo na operação de semeadura e a mineralização do P contido nas raízes, atingindo concentrações no solo que foram suficientes para o adequado crescimento radicular. De fato, conforme já foi apresentado (Figura 2), a produtividade de grãos não foi afetada pelo modo de aplicação do adubo fosfatado. Nos anos em que foi feita a avaliação da distribuição de P no solo (Figura 3), a cultura que estava no campo era a soja e o rendimento de grãos para aplicação a lanço foi superior em 10% e 4% ao obtido com aplicação no sulco de plantio, para o 6º e 14º anos de cultivo, respectivamente (Figura 2).

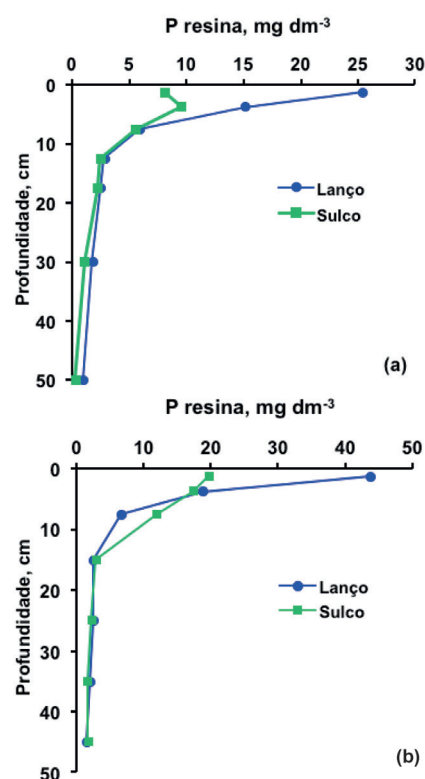


Figura 3. Distribuição do fósforo extraível no perfil do solo pelo método da resina após o 6º (a) e 14º (b) ano de cultivo da área, para aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo a lanço na superfície do solo e no sulco de plantio, em Latossolo Vermelho argiloso sob plantio direto.

Fonte: Adaptado de Nunes (2010).

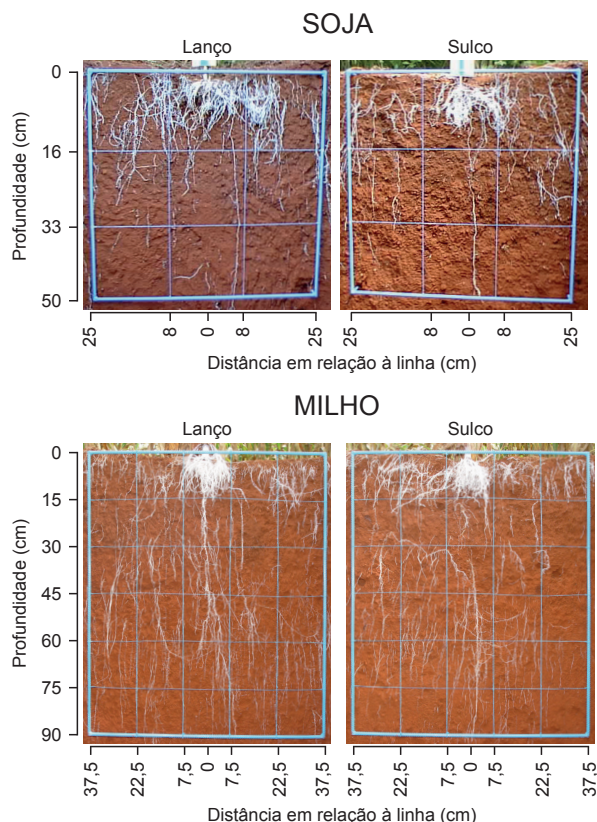


Figura 4. Imagens de perfil de distribuição do sistema radicular no florescimento da soja, no 6º cultivo da área, e do milho, no 11º cultivo da área, em Latossolo Vermelho muito argiloso com aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo a lanço na superfície do solo e no sulco de plantio, em sistema plantio direto. Raízes de soja: retângulos de 0,5 m de largura por 0,5 m de profundidade; raízes de milho: retângulos de 0,75 m de largura por 0,90 m de profundidade.

Fonte: Sousa et al., dados não publicados.

Percebe-se que, diferentemente daquilo que tem sido especulado acerca da adubação fosfatada a lanço, não houve limitação do acesso da planta ao P e, conseqüentemente, redução nas produtividades das culturas com esse modo de adubação fosfatada no SPD, mesmo com o grande gradiente de disponibilidade de P existente no solo (Figura 3). Além disso, cabe ressaltar que este estudo reproduziu condições extremas de formação de gradiente superficial de P no solo sob SPD, uma vez que, em solo com disponibilidade do nutriente muito baixa, o fertilizante fosfatado sempre foi aplicado na superfície sem revolvimento.

Em solos com teor de P classificado como adequado ou alto, seja pelo residual de adubações anuais anteriores, condição comum em áreas antigas de produção de grãos, ou pela adubação fosfatada corretiva em áreas novas, o modo de aplicação do fertili-

zante fosfatado solúvel não afeta a produtividade de soja e milho. Isso pode ser observado na Figura 5, que apresenta os resultados de um estudo conduzido em um Latossolo Vermelho argiloso com disponibilidade inicial de P muito baixa (menos de 1,0 mg dm⁻³ de P extraído por Mehlich⁻¹), e que foi corrigido com 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo, incorporado antes do início do experimento, atingindo-se o teor de 9 mg dm⁻³ de P extraído por Mehlich⁻¹, o que é considerado adequado (Tabela 1). Em seguida, cultivou-se soja e milho por 16 anos em SPD, recebendo aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo aplicado a lanço na superfície do solo ou no sulco de plantio. Em nenhum ano se observou diferença na produtividade dessas culturas de modo que, no período de 16 anos, a produtividade acumulada de soja e milho foi de 114,5 t ha⁻¹ e 112,7 t ha⁻¹ para aplicações a lanço na superfície do solo e no sulco de plantio, respectivamente.

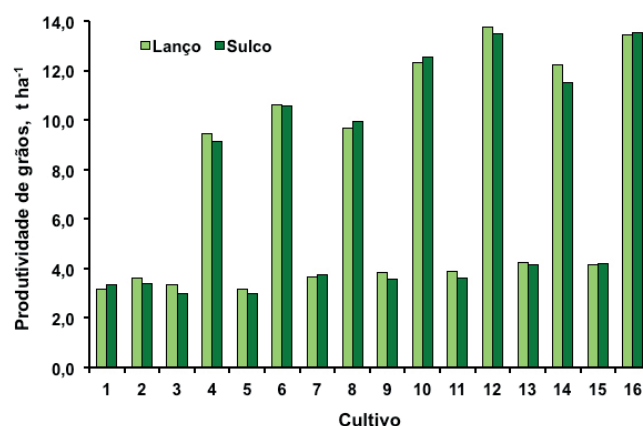


Figura 5. Produtividade de grãos de soja (cultivos 1 a 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15) e milho (cultivos 4, 6, 8, 10, 12, 14 e 16) no sistema plantio direto em Latossolo Vermelho argiloso com teor inicial de fósforo de 9 mg dm⁻³ de P (Mehlich⁻¹), recebendo aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço na superfície do solo e no sulco de plantio, na forma de superfosfato triplo.

Fonte: Sousa et al., dados não publicados.

A aplicação de fertilizantes na superfície do terreno, incluindo os fosfatados, pode representar uma importante simplificação no manejo da lavoura, permitindo ao produtor antecipar a adubação para a estação seca e fazer o plantio no início das chuvas. Como não haverá necessidade de adubação no sulco, neste caso, o produtor ganha tempo devido a melhor logística. Isso beneficia grandemente os agricultores que desejam plantar a cultura do milho de segunda safra na região.

Conforme dito anteriormente, quando a disponibilidade de P estiver abaixo da adequada e o sistema de cultivo for SPD o modo preferencial de aplicação do fertilizante fosfatado para as culturas de soja e milho deve ser no sulco de plantio. Já para o SPC, independentemente da disponibilidade de P no solo, este pode ser aplicado na forma mais conveniente ao agricultor. Com teores de P nos solos em níveis adequados ou altos, o modo de aplicação nos sistemas SPD e SPC pode ser escolhido em função da praticidade da operação.

Na adubação superficial a lanço sob SPD, deve-se considerar o potencial de perdas do P concentrado na superfície, que pode ser carregado principalmente pela erosão hídrica. Eventualmente o P pode contaminar represas e cursos d'água. Dessa forma, algumas práticas conservacionistas são requisitos básicos para a utilização da adubação fosfatada a lanço, como o terraceamento, o cultivo em nível, o uso de plantas de cobertura ou a cultura de segunda safra, mantendo o solo com cobertura vegetal durante todo o ano. Essas práticas visam conter as perdas de solo e água, minimizando o risco de eutrofização dos corpos d'água por P, o que já se tornou um problema com relação à qualidade da água para abastecimento urbano em outros países.

Outro aspecto relevante na escolha do modo de aplicação do P no SPD é que, após a aplicação de calcário na superfície do solo, durante os dois primeiros anos, o fertilizante fosfatado solúvel deve ser aplicado preferencialmente no sulco de plantio, independentemente da disponibilidade de P no solo, pois podem ocorrer pequenas perdas em produtividade das culturas devido a uma retenção temporária do P. O pH em água na camada superficial do solo que recebeu aplicação recente de calcário no SPD chega a valores próximos a sete nos primeiros dois anos, o que pode reduzir a solubilização do fertilizante fosfatado aplicado nesse período. Esse efeito pode ser minimizado com o manejo adequado da acidez do solo, não deixando que a saturação por bases do solo chegue a valores abaixo de 40%, pois, com isso, ao corrigir a área com calcário para elevar a saturação por bases a 50%, que é o recomendado para a região, a quantidade de calcário aplicada será pequena.

Fontes de fósforo

As recomendações apresentadas nas Tabelas 2 e 3 referem-se à utilização de fertilizantes fosfatados com elevada solubilidade em água ou ácido cítrico, que reagem rapidamente no solo e disponibilizam P prontamente às plantas. No entanto, os fosfatos naturais sedimentares de alta reatividade (FNR), insolúveis em água e com média solubilidade em ácido cítrico, também, podem ser utilizados para o fornecimento de P às plantas, desde que manejados da forma adequada.

Para a adubação fosfatada corretiva, com aplicação da dose recomendada a lanço com incorporação, os FNR apresentam eficiência agrônômica inferior, no ano da aplicação, em relação às fontes solúveis, mas seu efeito residual é equivalente ou mesmo superior às fontes solúveis nos anos subsequentes. A eficiência agrônômica inicial dos FNR depende de sua solubilidade. A solubilidade em ácido cítrico 2% acima de 40% é desejável. Em um experimento com sete anos de avaliação (Figura 6), o FNR só apresentou produtividade de grãos inferior ao superfosfato triplo no primeiro cultivo, sendo igual ou superior nos seis cultivos seguintes. A produtividade de grãos acumulada para os sete anos foi 32,3, 36,2 e 37,0 t ha⁻¹ de grãos de soja e de milho, respectivamente para os tratamentos: sem fosfatagem corretiva e com fosfatagem corretiva utilizando superfosfato triplo e FNR.

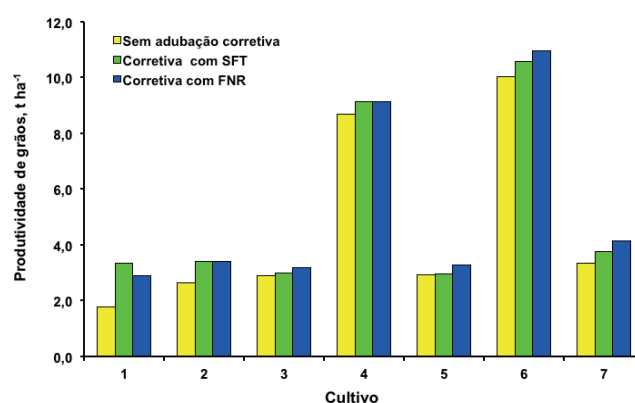


Figura 6. Produtividade de soja (cultivos 1 a 3, 5 e 7) e milho (cultivos 4 e 6) em Latossolo Vermelho argiloso com teor inicial de fósforo de 1 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1), recebendo aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de plantio na forma de superfosfato triplo em sistema plantio direto, em tratamentos sem adubação corretiva de fósforo e corrigidos com 240 kg de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo e fosfato natural reativo (38% do P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2%), aplicados a lanço e incorporados antes do primeiro cultivo.

Fonte: Sousa et al., (dados do autor).

Para a adubação fosfatada de manutenção (anual), o uso do FNR deve estar condicionado a estratégias que favoreçam a sua solubilização. A eficiência agrônômica inicial do FNR é baixa quando aplicado no sulco de semeadura, pois a dissolução de produtos de baixa solubilidade depende de maior contato com o solo, fato que ocorre na aplicação a lanço, especialmente com incorporação. Por sua vez, o preparo do solo, misturando o fertilizante aplicado no sulco de semeadura, favorece seu uso nos anos subsequentes. Desse modo, a utilização do FNR no SPD no sulco de semeadura ou a lanço na superfície pode ser recomendada na adubação de manutenção apenas para áreas já com elevada disponibilidade de P no solo, acima de 90% do potencial produtivo (Tabela 1), situação em que a baixa eficiência inicial impactará pouco a produtividade. Entretanto, a médio prazo, a disponibilidade de P do solo será mantida ou elevada com a utilização desses produtos na adubação anual de manutenção, da mesma forma que com a utilização de fosfatos solúveis em água.

Nesse sentido, na Figura 7, apresenta-se o efeito de diferentes estratégias de uso do FNR em área com disponibilidade de P adequada, em plantio direto, tendo o superfosfato triplo aplicado no sulco como referência. Durante os 12 anos de cultivos (sete com a cultura da soja e cinco com a cultura do milho), foram produzidos 79,3 t ha⁻¹ de grãos, sendo 23,6 t ha⁻¹ de grãos de soja e 55,7 t ha⁻¹ de grãos de milho, no tratamento referência, com superfosfato triplo aplicado anualmente no sulco de plantio da cultura de verão. Com a aplicação do FNR no momento do plantio da cultura de verão obtiveram-se 74,7 t ha⁻¹ de grãos, sendo 21,5 t ha⁻¹ de grãos de soja e 53,2 t ha⁻¹ de grãos de milho, para a aplicação no sulco de semeadura, e 76,3 t ha⁻¹ de grãos, sendo 22,8 t ha⁻¹ de grãos de soja e 53,5 t ha⁻¹ de grãos de milho, para aplicação a lanço na superfície. Já com a aplicação antecipada do FNR, no sulco de semeadura do milheto (planta de cobertura de inverno), semeando-se a soja e o milho sem o fertilizante fosfatado, a produtividade acumulada de grãos foi de 79,2 t ha⁻¹, sendo 23,9 t ha⁻¹ de grãos de soja e 55,7 t ha⁻¹ de grãos de milho.

Percebe-se que, para a adubação de manutenção, em consequência da menor eficiência agrônômica, a utilização do FNR não é recomendada quando aplicado no momento do plantio da cultura principal,

mesmo em áreas com disponibilidade adequada, ou seja, entre 80% e 90% do potencial produtivo. Entretanto, quando a disponibilidade de P no solo estiver elevada ou se aplicado antecipadamente no cultivo de cobertura, a eficiência do FNR poderá surtir melhor resultado, especialmente para a cultura da soja. De qualquer modo, mesmo adotando uma estratégia que favoreça a solubilização e uso do P, como a aplicação antecipada, a viabilidade econômica do uso do FNR estará condicionada ao preço da unidade de P₂O₅, uma vez que, em preços idênticos da unidade de P₂O₅, os fertilizantes solúveis em água (superfosfatos e fosfatos de amônio) são mais vantajosos, pois são comercializados em grânulos, o que facilita seu manejo no plantio, enquanto os FNR são farelados.

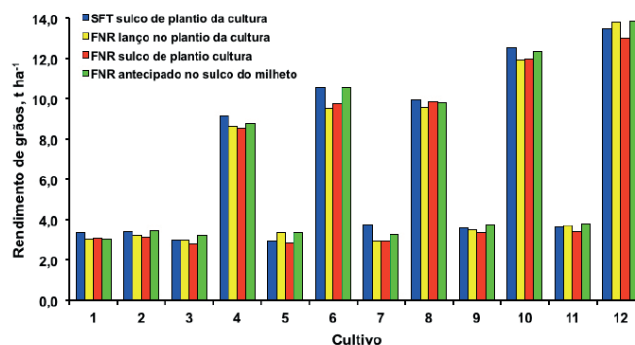


Figura 7. Produtividade de soja (cultivos 1 a 3, 5, 7, 9 e 11) e milho (cultivos 4, 6, 8, 10, 12) no sistema plantio direto em Latossolo Vermelho argiloso com teor inicial de fósforo de 10 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1), recebendo aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em diferentes estratégias de adubação. Fonte: Sousa et al., dados não publicados.

Um aspecto que deve ser considerado na utilização dos FNR é a análise de P no solo. No primeiro ano, após sua aplicação, os métodos Mehlich-1 e resina, utilizados na maioria dos laboratórios da região, superestimam a disponibilidade de P, pois solubilizam parte do fertilizante ainda não dissolvido no solo, resultando em teores mais elevados. Esse problema desaparece quando se completa a dissolução, o que ocorre já a partir do segundo ou no máximo terceiro ano após a aplicação desses produtos, a lanço com incorporação, em solos com pH em água igual ou inferior a 6,0. Em condições de pH mais elevado, a dissolução dos FNR é significativamente mais lenta e a eficiência agrônômica inicial inferior, independentemente da forma de aplicação. Entretanto, é possível ter uma boa avaliação da disponibilidade de P do solo em situações de aplicação anual de FNR,

empregando o extrator Bray 1, cuja magnitude de extração do P disponível do solo é semelhante à do extrator Mehlich-1, podendo ser utilizada a mesma tabela de interpretação do Mehlich-1 (Tabela 1). A análise pelo método Bray-1 não é comumente oferecida pelos laboratórios comerciais de análise de solo, o que torna ainda mais importante o registro do histórico de manejo das áreas para a interpretação dos resultados analíticos.

Referências

NUNES, R. S. **Distribuição do fósforo no solo sob dois sistemas de cultivo e diferentes manejos da adubação fosfatada**. 2010. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

NUNES, R. S. **Eficiência de uso do fósforo em sistemas de manejo do solo e adubação fosfatada por um longo período**. 2014. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Recomendação de adubação fosfatada com base na capacidade tampão de fósforo do solo para a região do Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27., 2006, Bonito. **Resumos expandidos...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. dos. Manejo do fósforo na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. da (Ed.). **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p. 291-358.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. Fósforo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. v. 2, p. 67-132.

Circular Técnica, 33

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Cerrados
Endereço: BR 020, Km 18, Rodovia Brasília/
Fortaleza
Caixa postal: 08223 CEP 73310-970
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
E-mail: www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

1ª edição

1ª impressão (2016): 30 exemplares



Comitê de publicações

Presidente: *Marcelo Ayres Carvalho*
Secretária executiva: *Marina de Fátima Vilela*
Secretárias: *Maria Edilva Nogueira e*
Alessandra Silva Gelape Faleiro

Expediente

Supervisão editorial: *Jussara Flores de O. Arbués*
Revisão de texto: *Jussara Flores de O. Arbués*
Normalização bibliográfica: *Fábio Lima Cordeiro*
Editoração eletrônica: *Wellington Cavalcanti*
Tratamento das ilustrações: *Wellington Cavalcanti*
Fotos: *Djalma Martinhão Gomes de Sousa*
Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*
Alexandre Moreira Veloso